



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

операционная, параметры микроклимата, температура внутреннего воздуха, относительная влажность, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК), энергоэффективность

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ КЛИМАТИЗАЦИИ БОЛЬНИЦ: ОСОБЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МИКРОКЛИМАТУ ОПЕРАЦИОННЫХ И ПАЛАТ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ

David Schurk, член ASHRAE, директор по стратегическим вопросам здравоохранения, Carrier Corporation (Denver)

Для многих помещений в больницах требуются особые технические и конструктивные решения, которые обусловлены высокой инфекционной опасностью, присутствием пациентов с ослабленным иммунитетом, наличием специального медицинского оборудования, необходимостью проведения уникальных лечебных процедур, а также высокой энергоемкостью инженерных систем. Именно для операционных и палат интенсивной терапии эффективная работа климатических систем имеет колоссальное значение, поскольку необходимо минимизировать распространение инфекции, сохраняя при этом комфортные условия для медперсонала и способствовать выздоровлению пациентов.

Важным аспектом при создании комфортного микроклимата в операционных является правильная комбинация значений температуры и относительной влажности воздуха в помещении. Для выбора оптимальной комбинации при проектировании систем ОВК во внимание должны приниматься как минимальные требования стандарта ASHRAE 170 (см. *)), так и пожелания хирургов и их ассистентов. В Руководстве ASHRAE по проектированию системы ОВК для больниц [2] отмечается, что жалобой номер один в адрес инженеров-проект-

тировщиков является невозможность поддерживать низкие температуры воздуха в операционной. Для решения данной проблемы необходимо при проектировании операционных комнат прислушиваться к мнению хирургов, анестезиологов, инфекционистов и младшего медицинского персонала, а также не оставлять без внимания классификацию операционных и сопутствующие этому требования.

Температура и относительная влажность воздуха в операционных

В данной статье делается акцент на зоны, требующие воздуха с низким содержанием влаги, однако это не означает, что поддержание «очень сухого» воздуха является решением проблемы. Важно помнить, что успешной работе и созданию комфортного микроклимата способствует полезный для здоровья уровень увлажнения воздуха в помещении в комбинации с заданным значением внутренней температуры. В начале проектирования одним из первых шагов является задание требуемых значений температуры и влажности микроклимата, которые можно расценивать как главные условия комфорта и благополучия пользователей помещений.

Требуемый диапазон температур для операционной составляет от 20 до 24 °C по сухому термометру (DB), а уровень относительной влажности должен сохраняться в диапазоне 20–60 % (см. *), табл. 1). Отметим, что это минимальные требования.

Слишком высокая влажность может снизить потоотделение человека, в результате чего возникнет ощущение, что в помещении теплее, чем на самом деле. Помимо этого, влажный воздух способствует росту плесени и грибка в помещении. С другой стороны, сухой воздух негативно воздействует на лю-

*) СТАНДАРТ ASHRAE 170–2017 «ВЕНТИЛЯЦИЯ В МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ»

Стандарт ASHRAE 170 [1] считается основой проектирования вентиляции в медицинских учреждениях. Это руководство, включающее в себя набор минимальных требований по проектированию системы вентиляции, которая сможет обеспечить контроль за параметрами микроклимата, поддерживая в медицинских учреждениях необходимый уровень комфорта, дезинфекции и дезодорации.

Стандарт определяет только минимальные требования по проектированию, которые не гарантируют (ввиду индивидуальных особенностей пациентов) создание в операционной комфортного микроклимата, успешно обеспечивающего контроль переноса инфекции.

дей с респираторными заболеваниями, а также может стать причиной сухости кожи, вызывающей дискомфорт. Воздух с относительной влажностью ниже 40 % способствует увеличению числа инфекционных больных.

Верхний порог относительной влажности в операционных – 60 %. Обратим внимание, что это значение в некоторых случаях, так же как и температура, может быть слишком высоким для работы хирургов и медперсонала, которые обычно облачены в защитные костюмы, препятствующие отводу тепла и пота от тела. В данном случае низкие значения относительной влажности (и температуры) создают условия, облегчающие удаление человеческого пота и тепла через многочисленные слои одежды. Некоторые хирургические операции могут требовать специального уровня относительной влажности, который будет способствовать, например, затвердеванию ортопедического цемента и клея или недопущению образования конденсата в воздухе, на поверхностях чувствительных медицинских устройств.

Определение оптимального микроклимата в операционных

Стандарт ASHRAE 170 предписывает, чтобы системы ОВК при эксплуата-

ции в штатном режиме были способны поддерживать в помещениях параметры микроклимата согласно табл. 1 (см. *). Более низкая или высокая температура может быть разрешена только в случае, когда этого требуют комфорт пациентов и/или медицинские условия. Руководство [2] отмечает, что важно определить требования медперсонала по уровню температур и влажности воздуха и обеспечить их выполнение системами ОВК.

Часто хирурги просят, чтобы в операционной было прохладнее, когда на самом деле им требуется более сухой воздух. Как бы то ни было, температура и относительная влажность в конечном итоге могут стать показателями, которые «заказывает» медперсонал для тех или иных процедур. Руководством проектировщику может служить табл. 2, но до начала проектирования систем ОВК следует уточнить различные моменты с врачами.

На основании имеющегося опыта можно утверждать, что практикующие хирурги предпочитают более прохладный (15,5–17,8 °C) и менее влажный (40–50 %) воздух в операционных. Без четкого понимания требований персонала больницы проектировщику следует по умолчанию разработать как можно более гибкую систему ОВК, которая сможет при необходимости

Таблица 1 Параметры проектирования в больницах [1, таблица 7.1]

Функция помещения	Отношение давления к прилегающей зоне	Минимальная кратность воздухообмена, ч ⁻¹		Количество вытяжного воздуха в комнате	Воздух, циркулируемый объемными блоками на комнату	Проектируемая	
		наружная	общая			относительная влажность, %	температура, °C
Операционная	Положительное	4	20	Не определено	нет	20–60	20–24

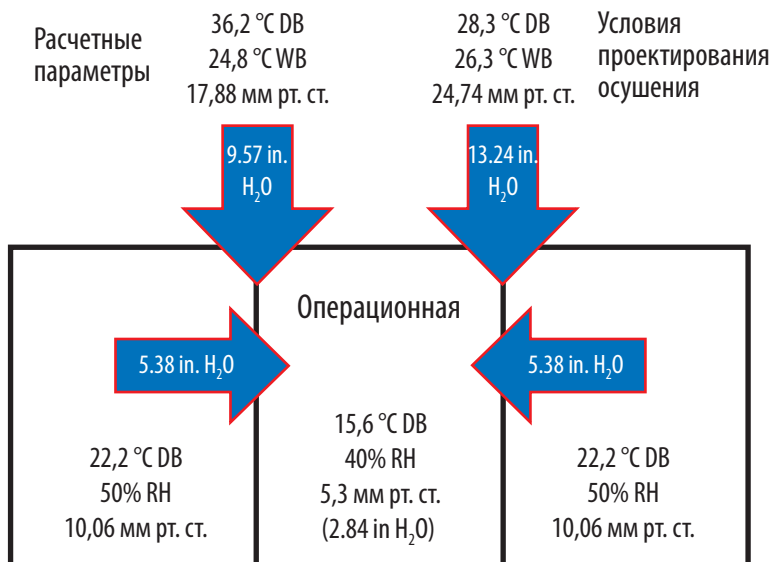


Рис. Потенциальная разница давления из-за испарений вдоль строительных компонентов операционной.

обеспечить более прохладную и сухую среду. Вне зависимости от того, какие параметры микроклимата в помещении считаются приемлемыми, система ОВК должна быть способна обеспечить необходимое количество приточного воздуха для поддержания заданного уровня температуры и относительной влажности.

Анализ нагрузок систем ОВК в операционной

При проектировании операционных чрезвычайно важно выполнить тщательный анализ всех нагрузок, связанных с поддержанием требуемого микроклимата (пониженные температура и влажность), а также учесть требования по вентиляции воздуха, инфильтрацию, внутренние источники

тепла и другие факторы, влияющие на мощность системы ОВК. Анализ нагрузок в операционной – это довольно прозрачный процесс, за исключением некоторых моментов.

Один из важных аспектов – это необходимость четко определить скрытые составляющие, обусловленные перепадом давлений между операционной и прилегающими к ней помещениями. Перепад давлений между зонами возникает из-за разности влагосодержания. Заметим, что влагосодержание не изменяется при изменении температуры воздуха (выше температуры точки росы).

Это может создать существенный движущий фактор, который является одной из причин миграции влаги из смежных помещений в операционную (рис.). Учитывайте, что фильтрация

воздуха и его сопутствующая нагрузка должны проникнуть сквозь неплотности конструкции, где водяной пар может рассеяться сквозь всю поверхность элемента конструкции (инфильтрация), задерживаясь только согласно классу проницаемости и из-за любого рода сопротивления под воздействием влагоизоляции. Во многих внутренних стенах и потолках больниц, а также некоторых наружных ограждающих конструкциях нет встроенной влагоизоляции. Если она и есть, то, как правило, довольно слабая или значительно поврежденная. Операционная, находящаяся под положительным давлением на разницу потока воздуха +0,01 in. H₂O/0,0025 кПа (+0,0007 in. Hg vp)¹, практически не может предотвратить попадание внутрь более влажного воздуха из зон с более высоким давлением; перепад давления способствует миграции водяного пара, как и в случае с проникновением влаги сквозь строительные материалы.

Важно понимать, что недооценка при расчете мощности ОВК количества влаги, которая потенциально способна мигрировать в операционную, может негативно сказаться в ходе эксплуатации климатических систем, спроектированных для прохладного и сухого воздуха.

Аналогично этому следует учесть нагрузку, связанную с другими внешними и внутренними источниками влаги, включая людей. Анализ этой величины может выходить за рамки традиционного программного обеспечения для расчета нагрузки на ОВК в коммерческих зданиях, требуя дополнительной психрометрической оценки для подтверждения должного учета влажностного компонента нагрузки.

Другой критически важный компонент при анализе нагрузок – это влияние наружного вентиляционного воздуха. Требования по вентиляции наружного воздуха могут составлять более 40 % пиковой нагрузки на кондиционирование воздуха в операционной, в зависимости от климатической зоны. Таким образом, при определении суммарной мощности важны выбор параметров микроклимата, которые будут использованы в анализе нагрузок, и оценка требований к производительности системы ОВК.

Таблица 2 Типовые требования для операционных комнат, согласно [2]

Тип медицинского помещения	Требования
Кардиология	Низкая температура воздуха, быстрый промежуточный подогрев, большое помещение
Ортопедия	Низкая температура воздуха, большое помещение, дополнительная фильтрация
Цистоскопия	Средний уровень температуры воздуха
Общая	Средний уровень температуры воздуха
Педиатрия	Высокая температура воздуха
Неврология	Низкая температура воздуха, большое помещение
Травматология	Высокая температура воздуха
Ожоговая	Высокая температура воздуха

¹ in. H₂O – дюйм водяного столба, in. Hg vp – дюйм ртутного столба.

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ

М. С. Трифонова, генерального директора
ООО «Дельта Контролс»

Требования к обеспечению качества воздуха, перечисленные в статье «Энергоэффективные системы климатизации больниц: особые требования к микроклимату операционных и палат интенсивной терапии», предполагают на этапе проектирования особенное внимание к разработке системы автоматики и диспетчеризации, поскольку гибкое регулирование микроклимата в операционных и палатах возможно только при установке в них сетевых термостатов и VAV/VVT-контроллеров для поддержания заданных параметров. Подаваемый воздух должен регулироваться для доводки параметров (температура, влажность, давление) для конкретной операционной, причем значения этих параметров система диспетчеризации получает автоматически из медицинской информационной системы по каждому пациенту, которому проводят операцию. Ввиду того, что все подразделения больницы являются потребителями электроэнергии, а выделенная электросетями мощность, да и бюджет, как правило, не позволяют бесконечно наращивать количество оборудования, то система диспетчеризации должна обеспечить синергию в работе инженерных, охранных, медицинских и ИТ-систем, уменьшая энергопотребление, улучшая качество предоставления медицинских услуг и снижая расходы на эксплуатацию клиники.

Примеры использования типовых данных при анализе нагрузок

Опираясь на климатическую информацию, ASHRAE предоставляет пять блоков данных на выбор. Рассмотрим два из них.

Первый блок, охлаждение по сухому термометру (DB) / средняя совпадающая температура по мокрому термометру (MCWB) (Cooling Design Day, далее – CDD)². Этот блок данных предпочтителен, когда поддержание заданных параметров внутреннего воздуха не имеет критичного значения, например при строительстве коммерческих зданий.

Второй блок, осушение точка росы (DP) / удельная влажность (HR) / средняя совпадающая температу-

ра по сухому термометру (MCDB), (Dehumidification Design Day, далее – DDD). Эти данные приобретают значение, когда параметры микроклимата очень важны: требуется постоянно поддерживать в помещениях заданные значения относительной влажности, особенно в периоды, когда высока влажность наружного воздуха, например в теплый летний день после дождя.

Продемонстрируем важность правильного выбора блока данных на примере метеосводок³, составленных для аэропорта им. Джорджа Буша в Хьюстоне при 0,4 перцентиле:

- CDD: температура по сухому термометру 36,4 °С / средняя совпадающая температура по мокрому термометру 24,7 °С, что трансформируется в энтальпию 92,4 кДж/кг;
- DDD: точка росы 26 °С / удельная влажность 146,1 / средняя совпадаю-

щая температура по мокрому термометру 28,2 °С, что трансформируется в 99,51 кДж/кг.

Эта небольшая разница в теплоте емкости кажется незначительной, но на самом деле имеет колоссальное влияние на способность системы ОВК при необходимости соответствовать требованиям по покрытию более высоких скрытых нагрузок.

Мощность системы ОВК, необходимой для охлаждения 283 м³/мин (4719 л/с) наружного воздуха по данным блока DDD до температуры приточного воздуха 11,1 °С (DB) / 10,5 °С (WB), в случае использования метеорологических данных блока CDD будет занижена примерно на 88 кВт скрытой холодопроизводительности и на 39 кВт общей холодопроизводительности. Эта ошибка может иметь губительные последствия (особенно для операционных), поскольку система ОВК не сможет обеспечить требуемые параметры микроклимата и уровень влажности в операционных повысится выше допустимого значения. Отметим, что при разработке спецификации оборудования на ОВК для инженера важно перечислить требования для CDD и для DDD и убедиться, что выбранное оборудование ОВК им соответствует.

Уравнение позволяет рассчитать скорость воздушного потока, необходимую для поддержания заданной влажности. Вне зависимости от способа расчета нагрузки при определении параметров микроклимата в операционной именно заданный в самом начале проектирования системы уровень контроля влажности (точка росы) поможет построить основу, благодаря которой будет спроектирована система ОВК нужной мощности.

$$Q = W_t / [d \cdot 60 \cdot (M_m - M_c)],$$

где Q – скорость воздушного потока, необходимая для удаления влаги из операционной (фунт³/мин);

W_t – общее влагосодержание в операционной (г/ч);

d – плотность воздуха (фунт/фут³);
60 – число минут в часе;

² День проектирования охлаждения – это фактически «худший случай» для нагрузки на систему кондиционирования воздуха. «Наихудший» час этого дня определяет мощность оборудования, размеры вентиляторов, а затем и размеры воздуховодов.

³ Предоставлена Всемирной метеорологической организацией: 722430.

M_m – уровень контроля влажности в операционной (г/фут);
 M_c – уровень влажности сухого воздуха, поставляемого в операционную (г/фут).

На большей территории США (и в других странах мира) климатические условия таковы, что в операционных требуется обязательное осушение воздуха. Однако в определенное время года может быть необходимо увлажнение, так как воздух в холодные зимние месяцы может стать слишком сухим. Аспект экологического контроля в данной статье не рассматривается.

Требования к системе ОВК

Важно, чтобы система ОВК была способна обеспечить требуемое количество приточного воздуха, необходимое для поддержания правильной комбинации температуры и влажности в операционных. Приведем пример того, как температура и влажность внутреннего воздуха влияют на систему ОВК (и как сама система ОВК может воздействовать на них).

Необходимо учитывать, что чиллер, поставляя охлажденную воду температурой 5,5 °С, не сможет обеспечить кондиционированный приточный воздух (в помещении) при температуре точки росы ниже 9,4 °С с охлажденной водой 3,8 °С для приближения к температуре приточного воздуха. Если предположить, что холодильная нагрузка в операционной традиционная, то самая низкая температура воздуха по сухому термометру, которой можно достичь в операционной, спроектированной с учетом поддержания в ней относительной влажности 50%, составляет примерно 22,2 °С.

Это показывает, что, хотя температура охлажденной воды может соответствовать требованиям по температуре, она остается недостаточно холодной, чтобы существенно осушить воздух и достичь удовлетворительного уровня относительной влажности. Это является недостатком для больниц, в которых предъявляются жесткие требования к параметрам воздуха в операционных.

Рекомендации при выборе системы ОВК

Примерные температуры охлажденной воды, которые должны быть установлены для того, чтобы поддерживать различные параметры воздуха в операционной, приведены в табл. 3. Очевидно, что выбор параметров микроклимата определяет как размеры устанавливаемой системы ОВК, так и ее тип (охлажденная вода, гликоль, осушитель). Конечно, табл. 3 не позволяет гарантировать правильный выбор требуемой производительности системы, для этого необходимо провести расчеты фактической пространственной нагрузки.

Центральный энергоблок для больниц проектируется, как правило, в расчете на традиционные температуры охлажденной воды на выходе, 5,5–6,6 °С. В случае, если больница в целом и операционные в частности питаются от трубопроводной сети центрального энергоблока, проблемы могут возрасти. Можно видеть (табл. 3), что существует ограниченный диапазон значений точек росы для операционных, которого можно достичь, используя температуры охлажденной воды выше 4,4 °С. Очевидно, что попытки

Мы заботимся о больницах,
чтобы они могли заботиться о вас.

АВТОМАТИЗАЦИЯ.

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.



Регистрация

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ

А. П. Борисоглебской, председателя комитета НП «АВОК» по лечебно-профилактическим учреждениям, профессора МАРХИ

Статья представляет научно-практический интерес для специалистов: обосновывает необходимость создания гибких систем кондиционирования воздуха в операционных и других основных подразделениях больниц. Кондиционирование воздуха помещений операционных должно обеспечивать параметры микроклимата:

- комфортные для хорошего самочувствия персонала и больных;
- требуемые для медико-технологических процессов и работы медицинского оборудования;
- предотвращающие размножение бактериальной среды.

В статье приводятся расширенные требования к влажности воздуха помещений и даётся анализ влияния влажности не только на физиологию человека и технологию медицинского процесса, но и на скорость распространения инфекции. Статья может стать дополнением к существующим отечественным нормативным документам: СанПиН, СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования», ГОСТ Р 52539-2006 «Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования», Рекомендациям НП «АВОК» 7.8-2019 «Проектирование инженерных систем лечебно-профилактических учреждений» и 7.8.1-2020 «Проектирование инженерных систем инфекционных больниц».

обеспечить более прохладные и сухие условия не увенчаются успехом. В таких ситуациях возможны два пути.

Первый путь – снизить температуру охлажденной воды на выходе из центрального энергоблока, обслуживающего всю больницу. Хотя данное решение устранило проблему в операционной, при этом увеличился расход энергии всего объекта примерно на 1,5–2,0% на каждые 0,56 °C снижения температуры (наряду с сопутствующим снижением производительности чиллера). Неоднократно принимались решения, что сопутствующее увеличение расхода энергии будет слишком большим или что существующие чиллеры не подходят по размеру для подъема/транспортировки, необходим для обеспечения снижения температуры.

Второй путь – установить автономно работающую систему ОВК с осушенным приточным воздухом, обеспечивающую требуемые параметры микроклимата в операционной. Опции включают в себя обычную или гликолевую охлажденную воду, твердую или жидкую систему осушения. Конечно, самый оптимальный вариант – это сразу заложить в проект системы выполнение требований по микроклимату. Модер-

Таблица 3 Температуры охлажденной воды и приточного воздуха, необходимые для обеспечения различных условий среды в операционных (на основе охлажденной воды с температурой 3,8 °C и выходящего воздуха)

Микроклимат в операционной			Температура наружного воздуха*, °C	Критическая температура воды*, °C	Промежуточный подогрев*, °C,	Охлажденная вода
Температура*, °C	Относительная влажность, %	Точка росы, °C				
21,1	50	10,3	8,6	4,7	9,8	да
21,1	40	7,0	5,3	1,4	13,1	гликоль
20,0	50	9,3	7,6	3,7	9,7	да
20,0	40	6,0	4,3	0,4	12,9	гликоль
18,9	50	8,3	6,6	2,7	9,6	да
18,9	40	5,0	3,3	-0,6	12,8	гликоль
17,8	50	7,2	5,6	1,7	9,5	да
17,8	40	4,0	2,3	-1,6	12,7	гликоль
16,7	50	6,2	4,6	0,7	9,4	гликоль
16,7	40	3,0	1,3	-2,6	12,6	не определено
15,6	50	5,2	3,5	-0,4	9,3	гликоль
15,6	40	2,0	0,3	-3,6	12,5	не определено

* По сухому термометру (DB).

низация любых уже существующих инсталляций приводит к дополнительным затратам и необходимости временного перерыва в эксплуатации больницы.

При принятии решения о выборе типа системы ОВК можно воспользоваться нашими рекомендациями. Если требуемые на выходе температуры охлажденной воды и приточного воздуха выше точки замерзания, можно подключить привычную охлаждающую воду. Это наименее затратное и оптимальное по энергопотреблению решение при условии обеспечения необходимых параметров микроклимата. Иногда необходимо вводить гликоль, что зависит от температуры всасывания хладагента – когда температура охлажденной воды на выходе приближается к точке замерзания или находится ниже ее.

Использование чилера с гликолевым контуром – это еще одно не слишком затратное решение, которое, однако, нельзя назвать энергосберегающим.

Вызывают озабоченность ситуации, которые полностью исключают использование охлажденной воды, но оговаривают требования к температуре приточного воздуха, приближенной к 0 °С, стремясь предотвратить обледенение теплообменника и замерзание конденсата. Если температура уходящего приточного воздуха приближается к точке замерзания или находится ниже нее, необходимо рассмотреть технологии осушения.

Существует множество факторов, позволяющих сделать правильный выбор системы ОВК с учетом первоначальной стоимости, энергопотребления, эксплуатационных издержек, периода окупаемости, уровня сложности системы, требований по техническому обслуживанию и т. п. Однако этот вопрос находится за рамками данного обсуждения. Главный же вывод состоит в том, что при проектировании операционных необходимо как соблюдать действующие нормативные требования, так и использовать лучшие инженерные практики, позволяющие учесть пожелания медперсонала.

Литература

1. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170–2017 Ventilation of Health Care Facilities.

2. ASHRAE. 2013. HVAC Design Manual For Hospitals And Clinics, 2nd ed. Atlanta: ASHRAE.

3. Taylor S., Hugentobler W. "Is low indoor humidity a driver for healthcare-associated infections" // Indoor Air. 2016. Paper 340: Session 98. www.isiaq.org/docs/Papers/Paper340.pdf. ■

Статья публикуется с разрешения редакции ASHRAE Journal. Оригинал статьи «Conditioning for the Environment of Critical Care Hospital Operating Rooms» опубликован в ASHRAE Journal, октябрь 2019 г. ASHRAE не несет ответственность за точность перевода. Для того чтобы приобрести издание на английском языке, обратитесь в ASHRAE: 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329–2305 USA, www.ashrae.org



Реклама

РЕКОМЕНДАЦИИ Р НП «АВОК» 5.3.2–2020 «РАСЧЕТ И ПОДБОР ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ»

**И ПРИЛОЖЕНИЕ «ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.
ИННОВАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ»**

Рекомендации Р НП «АВОК» 5.3.2–2020 «Расчет и подбор воздухораспределительных устройств» и практическое приложение к рекомендациям разработаны при участии компаний ООО «Вентарт Групп», ООО «ТРОКС РУС», ООО «Системэйр» и содержат сведения об инженерных методах расчета воздухораспределения для основных схем подачи приточного воздуха, примеры расчета воздухораспределения для зданий различного назначения, сведения о выборе оптимальной схемы подачи воздуха и воздухораспределительных устройств. Распределение воздуха в помещениях определяет конечный эффект работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха, что является продолжением темы борьбы с распространением новой коронавирусной инфекции COVID-19. Корректный подбор воздухораспределительных устройств позволяет обеспечить поддержание требуемых параметров микроклимата в обслуживаемой зоне помещений, избежать появления сквозняков и застойных зон, нерационального расхода энергоресурсов.

Издание может рассматриваться в качестве пособия, поясняющего положения СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» в части методики расчета и подбора воздухораспределительных устройств.

**Приобрести или заказать рекомендации
можно на сайте abokbook.ru
или по электронной почте s.mironova@abok.ru**